

# ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СПЛАВА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Гриб С.В.\*, Илларионов А.Г.\*, Марковский П.Е.\*\*\*, Скиба И.А.\*\*\**

*Руководители: проф., д.т.н. Попов А.А.\*,  
академик НАН Украины Ивасишин О.М.\**

\*УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

\*\*Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова, НАН Украины, г. Киев  
illarionovag@mail.ru

В настоящее время в мире большой интерес уделяется разработке сплавов для медицины, сочетающих в себе высокую биологическую инертность и механическую совместимость с костными тканями. Последнее достигается за счет снижения модуля упругости сплава до значений близких к модулю упругости кости (20...30 ГПа). В ИМФ НАНУ разработан такого рода сплав IMP-BAZALM (Zr-31Ti-18Nb (ат. %)), который проходит стадию всестороннего исследования. В данной работе рассмотрено влияние режимов высокотемпературной обработки, а так же холодной деформации на характер превращений  $\beta$ -твердого раствора в данном сплаве, что является весьма важным, так как изменение фазового состава в значительной степени может повлиять на уровень упругих характеристик. Сплав был обработан по следующим режимам: отжиг при 1000 °С (в вакууме) в течение 2-х часов, с последующим неконтролируемым охлаждением (состояние 1); повторный нагрев с последующей закалкой в воду: при 1000 °С (в вакууме) в течение 2-х часов (состояние 2), при 680 °С (в воздушной атмосфере) в течение 10 минут (состояние 3), в состоянии 2 сплав был подвергнут многоступенчатой обработке - вначале горячей деформации прокаткой, затем отжигу в  $\beta$ -области, последующей холодной деформации волочением с окончательной раскаткой в плоских бойках (состояние 4), степень холодной деформации составила более 90 %. Все нагревы производились при температурах, соответствующих  $\beta$ -области.

Анализ микроструктуры (рис. 1,а) и данных РСФА (таблица) показал, что в состоянии 1 в сплаве фиксируется  $\beta$ -фаза в виде полиэдрических зерен со средним размером 210 мкм с развитой субструктурой.

Стабильность  $\beta$ -твердого раствора к процессу распада в ходе неконтролируемого охлаждения, по-видимому, обусловлена достаточно высоким содержанием в сплаве  $\beta$ -стабилизирующего элемента – ниобия (18 ат. %).

Проведение повторных отжигов при 1000 °С и 680 °С (состояния 2, 3) способствует росту  $\beta$ -зерна (рис. 1,б), при этом, чем выше температура и продолжительность отжига, тем активнее протекает этот процесс, вследствие чего, средний размер зерна увеличился и составил 360 и

230 мкм соответственно. Последующая закалка в воду от температуры 1000 °С приводит к появлению в структуре сплава пластин  $\alpha''$ -мартенсита с характерной пластинчатой морфологией (рис. 1б), чего не происходит при закалке от 680 °С - фиксируется структура сходная с состоянием 1. Скорее всего, природа возникновения мартенситной фазы обусловлена появлением значительных термических напряжений при закалке сплава с более высокой температуры.

Таблица. Фазовый состав и периоды кристаллических решеток фаз в сплаве IMP-BAZALM в различных состояниях

Состояние	Фазовый состав	Периоды кристаллических решеток фаз, нм					
		$\beta$	$\omega$		$\alpha''$		
		a	a	c	a	b	c
Состояние 1	$\beta$	0,3455	-	-	-	-	-
Состояние 2	$\beta + \alpha''$	0,3458	-	-	0,3127	0,5596	0,4835
Состояние 3	$\beta$	0,3455	-	-	-	-	-
Состояние 4	$\beta + \omega$	0,34536	0,4863	0,3068	-	-	-

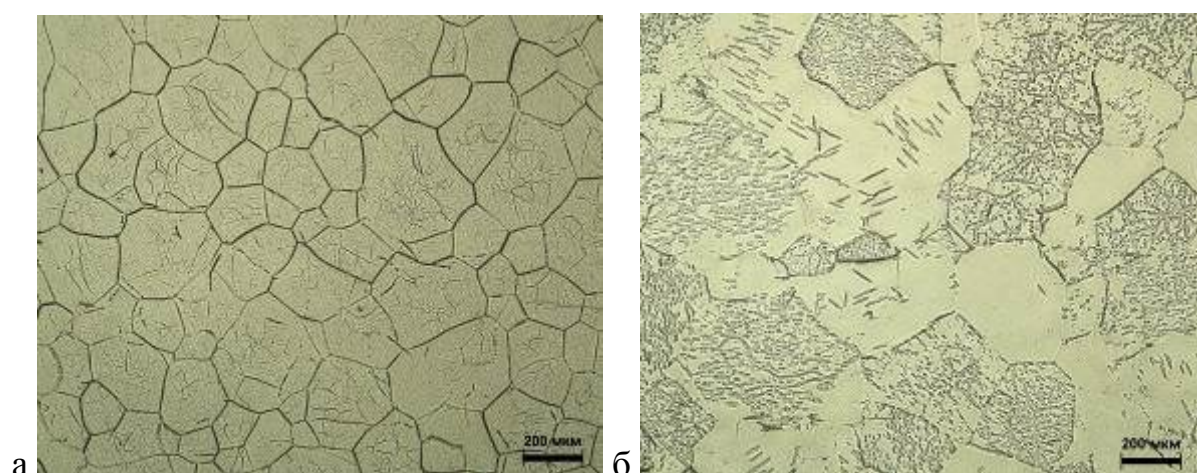


Рисунок 1. Микроструктура сплава IMP-BAZALM в состоянии 1 (а) и 2 (б)

Было проведено электронномикроскопическое исследование образца, подвергнутого холодной пластической деформации в состоянии 4 (рис. 2).  $\beta$ -матрица после холодной деформации имеет характерную вытянутую ячеистую структуру (рис. 2,а). Расчет кольцевых и точечных электронограмм с отдельных деформированных областей (рис. 2,б) указал на присутствие в структуре  $\omega$ - фазы. Стоит отметить, что частицы  $\omega$ -фазы

достаточно дисперсны, имеют близкую к эллипсоидальной форму и равномерно распределены в  $\beta$ -матрице (рис. 2, в).

Результаты электронной микроскопии, связанные с фиксацией в структуре при холодной деформации  $\omega$ - фазы были подтверждены рентгенографически (таблица). Природу образования  $\omega$ - фазы мы связываем с возникновением  $\beta$ -матрицы в результате холодной деформации характерных объемных изменений, которые способствуют протеканию  $\beta$ -  $\omega$ -превращения. Более подробно это явление рассмотрено нами в статье – И.А. Скиба, О.П. Карасевская, Б.Н. Мордюк, П.Е. Марковский, В.Н.Шиванюк. Влияние инициируемой деформацией  $\beta \rightarrow \omega$ - превращения на механическое поведение  $\beta$ -сплавов титана и циркония // Металлофизика и новейшие технологии. 2009. Т. 31. № 11. С. 1573...1587.

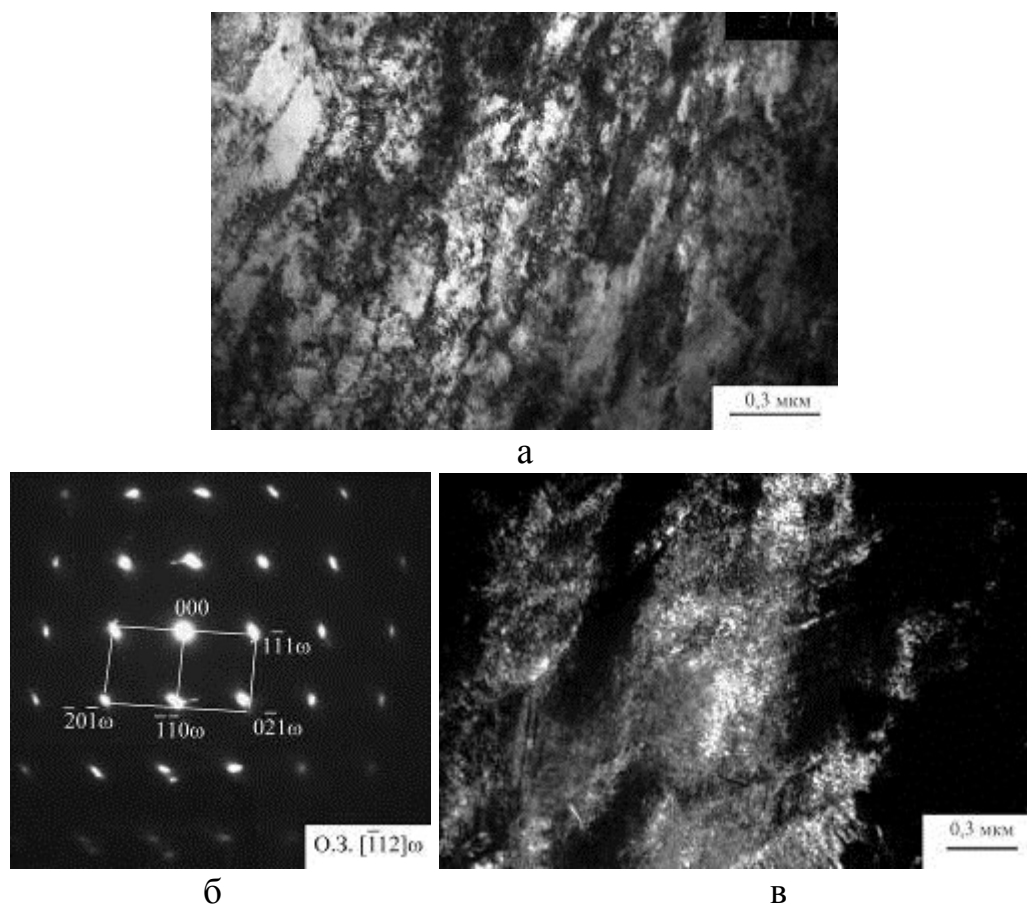


Рисунок 2. Структура сплава в состоянии 4:  
а – светлое поле, б – точечная электронограмма,  
в – темное поле в свете рефлекса  $[1\bar{1}1]\omega$

Установлено, что образующиеся в состояниях 2 и 4  $\alpha''$ - мартенсит и  $\omega$ -фаза, соответственно, имеют различный удельный объем, который,

исходя из периодов решеток фаз (таблица) составляет  $21,15 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3/\text{ат}$  для  $\alpha''$ -мартенсита, а для  $\omega$ -фазы –  $20,95 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3/\text{ат}$ .

Таким образом, проведенное исследование показало, что сплав ІМР-BAZALM, в зависимости от условий обработки, может испытывать, как  $\beta$ -  $\alpha''$ -мартенситное превращение при быстром охлаждении в воде с  $1000^\circ\text{C}$  (состояние 2), так и  $\beta$ -  $\omega$ -превращение в условиях проведения интенсивной холодной деформации (состояние 4), а так же оставаться в метастабильном  $\beta$ -состоянии при неконтролируемом охлаждении с  $1000^\circ\text{C}$  (состояние 1) и ускоренном охлаждении в воду с более низкой температуры  $680^\circ\text{C}$  (состояние 3). Инициирование различного рода наблюдаемых превращений ( $\beta$ - $\alpha''$ -,  $\beta$ - $\omega$ -), авторы связывают с различиями в напряженном состоянии сплава, возникающем в условиях закалки и холодной деформации.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ-Укр\_а №10-08-90413.